

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoinformatika



Kateřina Ondrušková

**POROVNÁNÍ MAPOVÁNÍ NATURA 2000 S VÝSTUPY MAPOVÁNÍ
POMOCÍ DÁLKOVÉHO PRŮZKUMU ZEMĚ NA PŘÍKLADU
KRKONOŠSKÉ TUNDRY**

**COMPARISON OF NATURA 2000 MAPPING WITH EARTH OBSERVATION MAPPING (CASE
STUDY OF TUNDRA IN THE KRKONOŠE MTS.)**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Lucie Kupková, Ph.D

Konzultantka: Mgr. Renáta Suchá

Praha 2016

Vysoká škola: Univerzita Karlova v Praze
Katedra: Aplikované geoinformatiky a kartografie

Fakulta: Přírodovědecká
Školní rok: 2015/2016

Zadání bakalářské práce

pro Kateřinu Ondruškovou

obor Fyzická geografie a geoinformatika

Název tématu:

Porovnání mapování NATURA 2000 s výstupy mapování pomocí dálkového průzkumu
Země na příkladu krkonošské tundry

Zásady pro vypracování

Bakalářská práce vychází z předpokladu, že legendy vegetačního pokryvu definované botaniky (například pro mapování NATURA) nejsou zcela v souladu s informací, kterou můžeme získat analýzou dat DPZ. Cílem práce je zjistit, jaké kategorie mapování NATURA 2000 je možné detekovat z dat DPZ s rozdílným prostorovým a spektrálním rozlišením - dat WorldView2 a Landsat. V prvním kroku budou data mapování NATURA 2000 použita pro trénování řízené klasifikace land cover. Výstup klasifikace bude porovnán s původní vrstvou NATURA 2000 a bude vyhodnocena shoda/přesnost klasifikace pro jednotlivé kategorie. Postup klasifikace bude případně modifikován (např. slučováním podtříd NATURA 2000) pro dosažení lepší přesnosti. Ve druhém kroku bude vyklasifikován land cover v modelovém území pomocí neřízené klasifikace a bude opět hledána podobnost/shoda s legendou mapování NATURA 2000. Ve třetím kroku bude porovnáno mapování NATURA 2000 s výstupem klasifikace na základě legendy a trénovacích dat připravených pro mapování metodami DPZ. Výsledky klasifikací budou dokumentovány mapovými výstupy.

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran

Seznam odborné literatury:

DOBROVOLNÝ, P. (1998): Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 208 s. ISBN 80-210-1812-7.

ŠTURSA, J. 2013. Arktoalpínská tundra Krkonoš. Živa. Praha: Academia, č. 4, s. 171-174. ISSN 0044-4812.

SUCHÁ, R., JAKEŠOVÁ, L., KUPKOVÁ, L. & ČERVENÁ, L. (2016): Classification of vegetation above the tree line in the Krkonoše Mts. National Park using remote sensing multispectral data AUC Geographica, 51, No. 1, pp. 113–129.

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Lucie Kupková, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Mgr. Renáta Suchá

Datum zadání bakalářské práce: leden 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: červen 2016

Platnost tohoto zadání je po dobu jednoho akademického roku.

.....
RNDr. Lucie Kupková, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

.....
RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

Vedoucí katedry

V Praze dne 30. 6. 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Jsem si vědoma toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze dne 27. 6. 2016

.....

Kateřina Ondrušková

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucí mé práce RNDr. Lucii Kupkové za věnovaný čas, cenné rady a připomínky.

Dále bych ráda poděkovala své rodině a přátelům za podporu během celého studia.

Porovnání mapování NATURA 2000 s výstupy mapování pomocí dálkového průzkumu Země na příkladu krkonošské tundry

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na porovnání mapování NATURA 2000 s výsledky klasifikace družicových snímků Landsat 8 a WorldView-2 s různým prostorovým rozlišením na příkladu krkonošské tundry. Snímky byly klasifikovány s využitím řízené klasifikace pomocí klasifikátoru Maximum Likelihood a neřízené klasifikace pomocí algoritmu ISODATA. Cílem práce bylo zjistit, jaké kategorie mapování Natura 2000 lze detekovat z družicových dat. Pro všechny klasifikace byla použita upravená legenda Natura 2000 na dvou úrovních. Nejlepších výsledků bylo pro oba snímky dosaženo neřízenou klasifikací na 1. úrovni legendy – celková přesnost pro snímek Landsat 8 byla 64,1 % a pro snímek WorldView-2 67,16 %. Pro klasifikace byl použit software ENVI 5.1.

Klíčová slova: dálkový průzkum Země, klasifikace řízená, klasifikace neřízená, legenda, přesnost klasifikace, mapování NATURA

Comparison of NATURA 2000 mapping with Earth observation mapping (Case study of tundra in the Krkonoše Mts.)

Abstract

The bachelor thesis is focused on comparing Natura 2000 mapping with results of classification of Landsat 8 and WorldView-2 satellite images with different spatial resolution in the case study of tundra in the Krkonoše Mts. Satellite images were classified using Maximum Likelihood supervised classification and ISODATA unsupervised classification. The aim of the thesis was to find out what categories of Natura 2000 mapping are detectable using satellite images. For all classifications two levels of modified legend of the Natura 2000 mapping were used. The best results for both satellite images were achieved by unsupervised classification on level 1 of the legend – overall accuracy for Landsat 8 image was 64,1 % and for Word-View-2 image 67,16 %. Software ENVI 5.1 was used for all classifications.

Keywords: Earth observation, supervised classification, unsupervised classification, legend, classification accuracy, NATURA mapping

Obsah

Seznam obrázků a tabulek	9
Seznam použitých zkratk	11
1 Úvod a cíle práce	12
2 Literární rešerše a úvod do problematiky	13
2.1 Tundra	13
2.2 Natura 2000	13
2.3 Spektrální chování objektů na Zemském povrchu	15
2.3.1 Spektrální vlastnosti vegetace	15
2.4 Klasifikace tundry	16
2.5 Klasifikace biotopů Natura 2000 pomocí DPZ	19
2.6 Klasifikace obrazu	19
2.7 Druhy klasifikace	20
2.7.1 Řízená klasifikace	20
2.7.2 Neřízená klasifikace	23
2.8 Hodnocení přesnosti klasifikace	24
3 Charakteristika oblasti	27
3.1 Krkonošská tundra	28
4 Data a metodika	30
4.1 Použitá data	30
4.1.1 Vrstva mapování biotopů NATURA 2000	30
4.1.2 Data družice WorldView-2	31
4.1.3 Data družice Landsat 8	32
4.2 Metody	33
4.2.1 Předzpracování dat	33
4.2.2 Klasifikační legenda	33
4.2.3 Postup klasifikace	35

4.2.4	Trénovací polygony	35
4.2.5	Řízená klasifikace.....	37
4.2.6	Neřízená klasifikace	37
4.2.7	Hodnocení přesnosti	37
5	Výsledky.....	38
5.1	Relativní zastoupení tříd a jejich rozloha.....	38
5.2	Přesnost klasifikace.....	40
5.3	Grafické výstupy.....	42
6	Diskuze	43
7	Závěr.....	46
	Použitá literatura.....	48

Seznam obrázků a tabulek

Obrázky

Obrázek 1 - Frekvenční funkce normálního rozdělení DN hodnot pro dva druhy povrchů "C" a "B" vypočtené z trénovacích ploch (Dobrovolný, 1998).....	22
Obrázek 2 - Klasifikátor největší pravděpodobnosti – Maximum Likelihood Classifier (Dobrovolný, 1998)	22
Obrázek 3 - Přehledová mapa zájmového území v KRNAP	27
Obrázek 4 - Družice WorldView-2 (DigitalGlobal, 2016).....	31
Obrázek 5 – Družice Landsat 8 (USGS, 2016)	32

Tabulky

Tabulka 1 - WorldView-2 - charakteristika pásem (Zdroj: DigitalGlobe, 2016).....	31
Tabulka 2 - Landsat 8 - charakteristika pásem (Landsat Science, 2013)	32
Tabulka 3 - Klasifikační legenda Natura 2000 – 1. úroveň.....	33
Tabulka 4 - Klasifikační legenda Natura 2000 – 2. úroveň.....	34
Tabulka 5 - Použitá klasifikační legenda - 1. úroveň	34
Tabulka 6 - Použitá klasifikační legenda - 2. úroveň	35
Tabulka 7 - Počet a rozloha trénovacích polygonů pro snímek Landsat 8, 1. úroveň legendy	35
Tabulka 8 - Počet a rozloha trénovacích polygonů pro snímek WorldView-2, 1. úroveň legendy	36
Tabulka 9 - Počet a rozloha trénovacích polygonů pro snímek Landsat 8, 2. úroveň legendy	36
Tabulka 10 - Počet a rozloha trénovacích polygonů pro snímek WorldView-2, 2. úroveň legendy	36
Tabulka 11 - Relativní zastoupení tříd pro 1. úroveň legendy pro data Natura 2000 a snímky Landsat 8 a WorldView-2.....	38
Tabulka 12 - Rozloha tříd pro 1. úroveň legendy pro data Natura 2000 a snímky Landsat 8 a WorldView-2.....	39
Tabulka 13 - Relativní zastoupení tříd pro 2. úroveň legendy pro data Natura 2000 a snímky Landsat 8 a WorldView-2.....	40

Tabulka 14 - Rozloha tříd pro 2. úroveň legendy pro data Natura 2000 a snímky Landsat 8 a WorldView-2	40
Tabulka 15 - Celková přesnost (CP) klasifikací a koeficient kappa pro obě úrovně legendy a oba snímky.....	41
Tabulka 16 - Uživatelská (UP) a zpracovatelská (ZP) přesnost klasifikace pro 1. úroveň legendy pro oba snímky.....	41
Tabulka 17 - Uživatelská (UP) a zpracovatelská (ZP) přesnost klasifikace pro 2. úroveň legendy pro oba snímky.....	42

Seznam použitých zkratek

AOPK ČR	Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky
CP	celková přesnost
DPZ	dálkový průzkum Země
ISODATA	Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique
KRNAP	Krkonošský národní park
LDA	Linear Discriminant Analysis
OLI	Operation Land Imager
MLC	Maximum Likelihood Classifier
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NN	Neural Net
PCA	Principal Component Analysis
SPLS	Sparse Partial Least Square
SVM	Support Vector Machine
SW	software
TIRS	Thermal Infrared Sensor
UP	uživatelská přesnost
VMB	vrstva mapování biotopů
WV-2	WorldView-2
ZP	zpracovatelská přesnost

1 Úvod a cíle práce

S rychlým vývojem technologií v oblasti dálkového průzkumu Země a lepší dostupností družicových a leteckých snímků se otvírají nové možnosti jejich zpracování. Obrazová data s různými spektrálními, prostorovými, radiometrickými a časovými charakteristikami jsou vhodná pro rozličné účely mapování vegetace (Xie et al., 2008).

Hlavním cílem této bakalářské práce je porovnat mapování Natura 2000 s výstupy mapování pomocí dálkového průzkumu Země na příkladu území západní arктоalpínské tundry v Krkonoších. Cílem je zjistit, jaké kategorie mapování NATURA 2000 je možné detekovat z dat DPZ s rozdílným prostorovým rozlišením. Analýza družicových snímků bude provedena pomocí řízené a neřízené klasifikace. Pro klasifikaci budou použita data WorldView-2 s prostorovým rozlišením 1,84 m a Landsat 8 s prostorovým rozlišením 30 m. V prvním kroku budou data mapování NATURA 2000 použita pro trénování řízené klasifikace land cover. Ve druhém kroku bude vyklasifikován land cover v modelovém území pomocí neřízené klasifikace a bude hledána podobnost/shoda s legendou mapování NATURA 2000. Ve třetím kroku bude porovnáno mapování NATURA 2000 s výstupem klasifikace na základě legendy a trénovacích dat připravených botanikem pro mapování metodami DPZ. Klasifikace budou provedeny v softwaru ENVI 5.1.

Výsledky klasifikací družicových snímků budou porovnány s výsledky mapování biotopů České republiky pro potřeby Natura 2000 a bude vyhodnocena míra shody pro jednotlivé kategorie.

Výstupem bude i mapa vegetačního pokryvu oblasti západní arктоalpínské tundry v Krkonoších.

2 Literární rešerše a úvod do problematiky

2.1 Tundra

V základním biogeografickém členění Země se rozlišují biomy suchozemské, sladkovodní a mořské. Mezi suchozemské biomy patří i tundra, která pokrývá přibližně 2,3 % rozlohy souší.

V zeměpisném měřítku je tundra rozšířena v polárních oblastech, kde je specifikována jako polární tundra. Na severní polokouli (arktická tundra) se rozprostírá převážně na území Severní Ameriky, severu Eurasie včetně Grónska, Islandu a dalších arktických ostrovů. Na jižní polokouli polární tundra pokrývá nezaledněné plochy ostrovů Subantarktidy (např. Falklandy, Jižní Georgie, Jižní Sandwichovy ostrovy). Obdobou polární tundry je příroda na hřebenech vysokých pohoří, která je většinou označována jako alpinská tundra a pokrývá alpinský až nivální vegetační stupeň. Tam, kde se oba typy tunder prolínají, hovoříme o arkto-alpínské tundře, ke které patří i krkonošská tundra (Kociánová et al., 2015).

Tundrová krajina je charakterizovaná třemi základními kritérii. Jedná se o bezlesé území s celoročním průměrem vzdušné teploty pod bodem mrazu (v nejteplejších měsících roku kolísají průměrné teploty mezi 0 °C a 10 °C), kde se velkoplošně udržuje trvale zmrzlá půda (permafrost). Průměrná roční teplota v ČR však nikde neklesá pod bod mrazu a permafrost se u nás recentně nevyskytuje, a tak výskyt severské tundry na našem území může vypadat poněkud nevěrohodně. Výsledky dlouhodobého mezioborového výzkumu hercynských pohoří a v posledních desetiletích i poznatky ze srovnávacích badatelských aktivit ale existenci tundry ve Vysokých Sudetech (Krkonoše, Králický Sněžník a Hrubý Jeseník) skutečně dokazují (Štursa, 2013).

2.2 Natura 2000

Natura 2000 je soustava chráněných území, které vytvářejí na svém území podle jednotných principů všechny státy Evropské unie. Cílem této soustavy je zabezpečit ochranu těch druhů živočichů, rostlin a typů přírodních stanovišť, které jsou z evropského pohledu nejceněnější,

nejvíce ohrožené, vzácné či endemické. Vytvoření soustavy Natura 2000 ukládají dva nejdůležitější právní předpisy EU na ochranu přírody: směrnice 2009/147/ES, o ochraně volně žijících ptáků („směrnice o ptácích“) a směrnice 92/43/EHS o ochraně přírodních stanovišť, volně žijících živočichů a planě rostoucích rostlin („směrnice o stanovištích“).

Směrnice ve svých přílohách vyjmenovávají, pro které druhy živočichů, rostlin a typy přírodních stanovišť mají být lokality Natura 2000 vymezeny. Požadavky obou směrnic jsou implementovány do národní legislativy zejména prostřednictvím zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů.

Na základě směrnice o ptácích jsou vyhlášovány „ptačí oblasti“ (za účelem ochrany ptáků) a podle směrnice o stanovištích „evropsky významné lokality“ (za účelem ochrany přírodních stanovišť, volně žijících živočichů a planě rostoucích rostlin. Dohromady tvoří ptačí oblasti a evropsky významné lokality soustavu chráněných území Natura 2000.

Za celkovou přípravu soustavy Natura 2000 zodpovídá Ministerstvo životního prostředí, které pověřilo přípravou odborných podkladů AOPK ČR. Ptačí oblasti a evropsky významné lokality vyhláší vláda ČR (AOPK ČR, 2006).

Při přípravě vymezení soustavy Natura 2000 došli odborníci k názoru, že bude účelné vytvořit analogickou interpretační příručku, která bude sloužit jako nástroj pro pokud možno jednoznačnou identifikaci, popis a vymezení přírodních typů stanovišť. Přitom se rozhodli rozšířit její pojetí i o některé jiné typy přírodních stanovišť, než která vymezuje směrnice 92/43/EHS. Kromě ohrožených typů přírodních stanovišť programu Smaragd (Emerald) Rady Evropy byly vybrány některé další významnější typy přírodních stanovišť a fyziotypy, významné pro popis lokalit v České republice. Po tomto rozhodnutí vznikl Katalog biotopů České republiky (Chytrý, Kučera a Kočí, 2001).

Jedním z cílů Katalogu biotopů ČR bylo poprvé v historii definovat jednotlivé typy přírodních stanovišť s přihlédnutím k výlučným poměrům na území českých zemí, shrnout dosavadní stav poznání a srovnat, tam, kde je to možné, všechny významnější klasifikační systémy (Roth, 2001). Na základě Katalogu, který sloužil jako základní příručka a mapovací legenda, vznikla Vrstva mapování biotopů (VMB). VMB je prvním plošně jednotným podkladem, který zobrazuje aktuální vegetační pokryv na území celého státu. VMB lze tedy

použít k analýze větších územních celků (popř. celého území ČR), z hlediska jednotlivých biotopů k určitému jasně vymezenému období (Hošek, 2009).

2.3 Spektrální chování objektů na Zemském povrchu

Z hlediska spektrálních vlastností můžeme základní krajinné složky rozdělit do těchto skupin: voda, anorganické látky, vegetace a atmosféra.

Vegetační složka krajiny představuje výraznou dominantu v dálkovém průzkumu zemského povrchu – kromě pouštních a polárních oblastí je vegetace obsažena ve všech datových souborech pořízených z letadlových a družicových nosičů (Kolář, 1990).

Odrazové vlastnosti vegetačního krytu jsou, jak uvádí Dobrovolný (1998), formovány především následujícími faktory:

- vnější uspořádání vegetačního krytu
- vnitřní struktura jednotlivých částí rostlin
- vodní obsah
- zdravotní stav
- vlastnosti půdního substrátu

Spektrální projev porostu určitého rostlinného druhu je výslednicí odrazivých a emisních vlastností různých částí rostliny i jejího pozadí. Dominující jsou však příspěvky od listů, a tak se nejčastěji využívá jejich odrazových vlastností k charakteristice spektrálního chování celého vegetačního porostu.

2.3.1 Spektrální vlastnosti vegetace

Jak uvádí Dobrovolný (1998), spektrální křivka odrazivosti vegetace se dělí do tří hlavních částí, které odpovídají faktorům určujícím velikost spektrální odrazivosti. Jedná se o oblast pigmentační absorpce (0,4-0,7 μm), oblast buněčné struktury (0,7-1,3 μm) a oblast vodní absorpce (1,3-3,0 μm).

Pro pásmo pigmentační absorpce jsou typické absorpční pásy, které, jak popsal Campbell (1996), vznikají, jelikož v těchto intervalech spektra je zeleným barvivem pohlcováno 70 % až 90 % dopadajícího záření. Mezi absorpčními pásy se nachází maximum odrazivosti v zelené části spektra (příčina zelené barvy rostlin ve vegetačním období).

Odrazivost v oblasti buněčné struktury se často používá k charakterizování míry hustoty vegetačního krytu prostřednictvím tzv. indexu listové pokryvnosti (Leaf Area Index – LAI) – jedná se o bezrozměrné číslo, které udává, kolikrát je plocha všech listů větší než jednotková plocha sloupce, ve kterém se listy nacházejí. Rozdílné odrazivosti vegetace ve viditelné červené (cca 0,6 až 0,7 μm) a blízké infračervené části spektra (kolem 0,8 μm) se využívá k výpočtu vegetačních indexů. Ty mohou být ukazatelem míry přítomnosti zelené hmoty nebo jejího zdravotního stavu.

V oblasti vodní absorpce je spektrální odrazivost formována absorpčními pásy vody – odrazivost v této části spektra je nepřímo úměrná obsahu vody v listu. Právě v těchto vlnových délkách se nejvíce projeví změny ve vodním obsahu vegetace, např. vodní stres rostlin. Odrazivost v této oblasti spektra závisí kromě vodního obsahu také například na tloušťce listu.

Jak uvádí Kolář (1990), obsah vody a chlorofylu v listu závisí také na složení půdy, především na obsahu živin a přítomnosti některých minerálů. Spektrálních projevů rostlin tak může být z části využíváno ke zjišťování přítomnosti některých hornin nebo minerálů.

2.4 Klasifikace tundry

Klasifikací vegetace v oblasti tundry se ve své práci zabývali Bratsch et al. (2016). Cílem práce bylo zhodnotit možnosti terénní spektroskopie při odlišení čtyř typů vegetačních společenstev. Modelové území se nacházelo v oblasti Ivotuk Hills na Aljašce. Získaná data byla analyzována pomocí spektrálně převzorkovaných hyperspektrálních dat. Pro oddělení společenstev bylo použito metod Sparse Partial Least Square (SPLS) a Linear Discriminant Analysis (LDA). Výsledky z oblasti Ivotuk byly dále použity pro predikci společenstev na pěti místech podél Dalton Highway. Celková přesnost klasifikace v oblasti Ivotuk Hills dosahovala 84 % - 94 % a 51 % - 91 % v oblasti testovacích území podél Dalton Highway.

Výsledky studie tedy dokázaly, že klasifikace plošně získaných hyperspektrálních dat s využitím metod SPLS a LDA jsou pro klasifikace aljašské tundry vhodné.

Mora et. al (2014) testovali ve své práci použití leteckých snímků s vysokým rozlišením pro klasifikaci arktické tundry. Zájmovým územím se bylo údolí Adventdalen na ostrově Západní Špicberk, největším ostrovem Špicberk. K analýze byly použity dva druhy snímků – první s červeným, zeleným a modrým pásmem a pixelovým rozlišením 6 cm; a druhý s červeným, zeleným, modrým a blízkým infračerveným pásmem a pixelovým rozlišením 20 cm. Nejlepších výsledků bylo dosaženo sloučením všech původních pásem s rozlišením 10 cm a klasifikováním metodou řízené klasifikace s využitím klasifikátoru Maximum Neighbourhood. Celková přesnost klasifikace dosahovala až 84 %.

Klasifikací subalpínské vegetace v oblasti arktoalpínské tundry v Krkonoších se zabývala Müllerová (2005). Hlavním cílem práce bylo mapování a hodnocení změn subalpínské vegetace. Zájmové území se nacházelo v nadmořské výšce 1300-1400 m v okolí Labské boudy v Krkonoších a mělo rozměry cca 2×3 km. Pro klasifikaci byly použity multispektrální snímky z let 1986, 1989 a 1997. Cílem práce bylo ověřit vhodnost dat pro klasifikaci subalpínské vegetace, do jaké míry lze odlišit jednotlivé typy vegetace a jestli jsou výsledky této analýzy srovnatelné s výsledky získanými pomocí terénního mapování. Před vlastní klasifikací bylo třeba naskenovat jednotlivé negativy pro každý kanál barevného snímku, snímky vlícovat a na závěr georeferencovat. Prostorové rozlišení dat bylo 1 m. Pro klasifikaci vegetace byl využit snímek z roku 1989 v se čtyřmi kanály (0,54 μm , 0,60 μm , 0,66 μm a 0,84 μm). Důležité pro klasifikaci bylo vhodné zobrazení s pomocí metod vyrovnaní histogramu, PCA a NDVI. Pro hodnocení přesnosti byla použita deskriptivní a analytická technika popsaná Congaltonem (1991). Vegetace byla klasifikována metodou řízené klasifikace s využitím klasifikátoru největší pravděpodobnosti a metodou neřízené klasifikace s pomocí algoritmu ISODATA. Při řízené klasifikaci bylo testováno použití klasifikátoru minimálních vzdáleností, ale pro nedostačující přesnost bylo jeho použití zamítnuto. Při řízené klasifikaci bylo určeno 7 tříd a klasifikace dosáhla přesnosti 79 %. Při neřízené klasifikaci bylo určeno 15 tříd, ale protože mnohé z nich obsahovaly stejný typ vegetace/krajinného pokryvu, byly sloučeny a výsledkem bylo pouze 6 tříd. Celková přesnost neřízené klasifikace byla 63 %. Při srovnání výsledků klasifikace s botanickými mapami se přesnost jednotlivých tříd pohybovala mezi 24 % a 75 %. Přesnost řízené klasifikace byla v tomto případě 55 % a neřízené 59 %.

Jakešová (2014) klasifikovala vegetaci nad horní hranicí lesa pomocí objektově-orientované klasifikace s využitím ortofota s blízkým infračerveným pásmem a prostorovým rozlišením 12,5 cm. Hlavním cílem práce bylo zhodnotit možnosti využití objektově-orientované klasifikace v kombinaci s ortofoty s vysokým prostorovým rozlišením při klasifikaci arкто-alpínské tundry v modelovém území Krkonošského národního parku. Modelové území o rozloze cca 12 km² se nachází v oblasti západní krkonošské tundry v okolí Labské boudy. Byly použity dva přístupy objektově-orientované klasifikace – Example-based a Rule-based a tyto přístupy byly následně porovnávány. Jako vhodnější se ukázala klasifikace Example-based s využitím algoritmu SVM, kterou se podařilo klasifikovat všechny kategorie legendy. Celková přesnost obou přístupů se pohybovala kolem 75 %.

Podobnou tematikou se zabývali ve své práci také Suchá et al. (2016), když klasifikovali vegetaci nad horní hranicí lesa v KRNAP s využitím multispektrálních dat. Cílem bylo zhodnotit možnosti multispektrálních dat s rozdílným prostorovým a spektrálním rozlišením pro klasifikaci vegetace v modelovém území. Letecká ortofota s velmi vysokým prostorovým rozlišením 12,5 cm a 4 spektrálními pásmy byla klasifikována objektovou klasifikací. Družicová data World-View-2 (WV-2) s vysokým prostorovým rozlišením 2 m a 8 spektrálními pásmy byla klasifikována objektově a pixelově. Družicová data Landsat 8 s prostorovým rozlišením 30 m byla klasifikována pixelově. Pro objektovou klasifikaci byl využíván přístup Example-based a algoritmus SVM. Z algoritmů pro pixelovou klasifikaci byly porovnány klasifikátory MLC, SVM a NN. Základní legenda obsahovala celkem 12 tříd a byla využita pro ortofota a WV-2, a to pouze v západní tundře. Zjednodušená legenda obsahovala 8 tříd a byla použita pro klasifikaci všech zmíněných typů dat za účelem jejich porovnání.

Nejlepší výsledky byly dosaženy pro ortofota, v případě podrobné (celková přesnost klasifikace 83,56 %) i zjednodušené (71,96 %) legendy. Klasifikace WV-2 dosáhla nejlepšího výsledku v případě objektového přístupu a zjednodušené legendy (68,4 %), při pixelové klasifikaci byla nejpresnější metoda SVM s využitím podrobné legendy (60,82 %). Data Landsat byla nejpresněji klasifikována s využitím MLC, kdy bylo dosaženo celkové přesnosti 78,31%. V žádném z typů dat nebyl problém s klasifikací nevegetačních tříd (kamenná moře, antropogenní a vodní plochy). Většinou byla dobře vyklasifikována také kategorie kosodřevina. Pro podrobnou legendu dosahovala dobré přesnosti kategorie

subalpínská brusnicová vegetace. Naopak horší výsledky byly zaznamenány při klasifikování podkategorií třídy subalpínské vysokostébelnaté travníky.

Z porovnání dat s rozdílným spektrálním a prostorovým rozlišením vyplynulo, že velmi vysoké prostorové rozlišení dat je zásadním parametrem pro dosažení vysoké celkové přesnosti klasifikace v detailní úrovni.

2.5 Klasifikace biotopů Natura 2000 pomocí DPZ

Téma klasifikace biotopů Natura 2000 pomocí DPZ se v literatuře příliš často nevyskytuje. Touto problematikou se ve své práci zabýval Feilhauer (2014). Cílem práce bylo zjistit, zda se dají využít multispektrální data získaná pomocí dálkového průzkumu Země pro mapování biotopů Natura 2000. Jako modelové území sloužila oblast rašelinišť v Bavorsku. Bylo využito hyperspektrálních dat sensoru AISA Dual (s prostorovým rozlišením 2 m), multispektrálních dat sensorů RapidEye (s prostorovým rozlišením 6 m) a Sentinel-2 (s prostorovým rozlišením 10, 20 a 60 m v závislosti na spektrálním pásmu). Cílem práce bylo zjistit, jestli lze s využitím multispektrálních dat dálkového průzkumu Země mapovat biotopy soustavy Natura 2000 a zda se výsledky blíží výsledkům mapování pomocí obrazové spektroskopie. Pro mapování byly použity různé metody, například terénní výzkum a klasifikace snímků. Pro klasifikaci byl zvolen algoritmus Random Forests. Celková přesnost klasifikace Random Forests byla 64 % pro data sensoru AISA Dual, 62 % pro data sensoru RapidEye a 59 % pro data sensoru Sentinel-2. Výsledky ukazují, že multispektrální data lze použít pro mapování biotopů Natura 2000, pokud jsou spektrální vlastnosti jednotlivých kategorií dostatečně odlišné.

2.6 Klasifikace obrazu

Klasifikace obrazu je proces, jehož cílem je nahradit hodnoty radiometrických charakteristik původního obrazu, které vyjadřují spektrální vlastnosti objektů a jevů na něm zobrazených, hodnotami vyjadřujícími tzv. informační třídy (Dobrovolný, 1998). Tento proces je založen na použití určitých rozhodovacích pravidel – tzv. klasifikátorů, podle nichž lze všechny prvky obrazu zařadit do určité třídy. Jak uvádí Kolář (1990), tyto klasifikátory mohou být

obecně založeny na nejrozličnějších vlastnostech objektů a jevů v obraze (ne pouze na jejich spektrálním chování).

Jevy či objekty lze klasifikovat podle jejich časového nebo prostorového chování, nejčastěji se však ke klasifikaci používají klasifikátory založené na spektrálním chování objektů. Tyto klasifikátory používají multispektrálních dat a znalosti spektrálního chování objektů na scéně k zařazení všech prvků obrazu do určité třídy. Vycházejí z předpokladu, že různé objekty budou vykazovat odlišné spektrální chování na základě svých odrazových nebo vyzařovacích vlastností.

2.7 Druhy klasifikace

Nejčastěji používané klasifikátory založené na spektrálních vlastnostech jevů a objektů se označují jako bodové („per-pixel“) klasifikátory, protože k zařazení obrazových prvků do jednotlivých tříd nepoužívají vlastností a příznaků okolních pixelů, ale pouze pixelu klasifikovaného (Dobrovolný, 1998).

Pro některé úlohy je pixelová klasifikace, založená pouze na spektrálních vlastnostech pixelu, nedostačující a nepřesná. Objektově-orientovaná klasifikace využívá kromě spektrálních příznaků také příznaky kontextuální, tvarové či geometrické. Pro provedení klasifikace, je nejdříve nutné provést tzv. segmentaci (rozdělit obraz na jednotlivé objekty) a poté aplikovat klasifikační model (Yu et al., 2006).

Obecně lze klasifikaci dělit podle toho, ve kterém okamžiku a jakým způsobem uživatel zasahuje do procesu klasifikace na klasifikaci řízenou a neřízenou.

2.7.1 Řízená klasifikace

Před vlastní řízenou klasifikací je nutné sestavit základní klasifikační schéma, které se řídí účelem klasifikace. Prvky tohoto schématu představují jednotlivé položky legendy (třídy či kategorie) výsledné tematické mapy.

Celý proces řízené klasifikace zahrnuje následující fáze:

1. definování tzv. trénovacích ploch
2. výpočet statistických charakteristik (spektrálních příznaků) pro trénovací plochy charakterizující jednotlivé třídy, jejich editace a výběr vhodných pásem pro vlastní klasifikaci
3. volba vhodného klasifikátoru pro zařazení všech prvků obrazu do jednotlivých tříd
4. zatřídění všech obrazových prvků do vymezených tříd
5. úprava, hodnocení a prezentace výsledků klasifikace

Klasifikace obrazu nemusí být závěrečným stádiem jeho zpracování. Může sloužit například pouze k vymezení jedné určité třídy povrchů, která bude dále analyzována (Dobrovolný, 1998).

Cílem první fáze řízené klasifikace je vymezení trénovacích ploch. Pro jejich vymezení je nutné shromáždit podpůrná data – informace o zpracovaném území z terénního průzkumu či jiných zdrojů. Trénovací data musí být především kompletní a reprezentativní. Jejich výběr závisí zcela na zpracovateli a kvalita výběru značně ovlivňuje přesnost výsledků klasifikace.

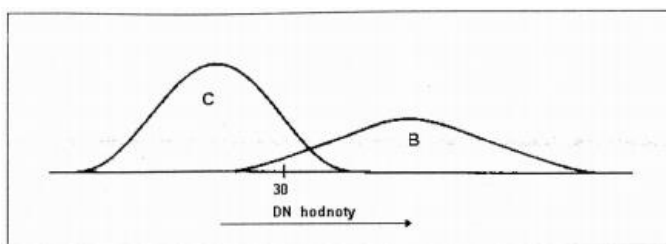
Pixely trénovací plochy tvoří masku – ta pro každou třídu definuje část obrazu, ze které jsou v druhé fázi řízené klasifikace vypočteny statistické charakteristiky. Tyto charakteristiky definují tzv. spektrální příznaky (signatury) pro každou hledanou třídu a jsou představovány například směrodatnou odchylkou, kovarianční maticí nebo průměrovým vektorem. Díky těmto statistikám lze posoudit, zda vybrané trénovací plochy vhodně charakterizují jednotlivé třídy a zda se trénované třídy ve zvoleném multispektrálním prostoru dostatečně odlišují svým spektrálním chováním.

Výsledkem prvních dvou fází řízené klasifikace je statistický popis hledaných tříd získaný jen z malé části zpracovaného obrazu – trénovacích ploch. V klasifikační fázi řízené klasifikace jsou pomocí vhodného klasifikátoru jednotlivé prvky obrazu postupně zařazovány do jedné z tříd. Klasifikátory jsou založeny na předpokladu, že obrazové prvky patřící do jedné třídy se budou shlukovat ve stejné části vícerozměrného příznakového prostoru. Hledá se tedy pravidlo, které určí, ke kterému shluku pixel patří – pokud nepatří do žádného z nich, zůstane ve třídě nezařazených pixelů (Dobrovolný, 1998).

K často používaným klasifikátorům řízené klasifikace patří například klasifikátor Maximum Likelihood (maximální pravděpodobnosti) nebo Support Vector Machine.

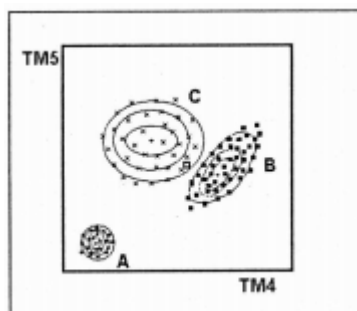
2.7.1.1 Klasifikátor maximální pravděpodobnosti

Klasifikátor maximální pravděpodobnosti, který je využit v bakalářské práci, kvantitativně hodnotí při zařďování pixelu rozptyl hodnot, kovarianci a korelaci každé třídy. Vychází z předpokladu, že shluky pixelů v trénovacích množinách mají normální rozdělení. Za tohoto předpokladu lze pro každý shluk z tzv. průměrového vektoru, který popisuje míru úrovně a z kovarianční matice, která popisuje míru variability, sestavit frekvenční funkci normálního rozdělení (Obr. 1). Z teorie normálního rozdělení plyne, že tato frekvenční funkce omezuje spolu s horizontální osou plochu o velikost 1 (100 %) a pro každou hodnotu na horizontální ose lze vypočítat pravděpodobnost jejího výskytu = pravděpodobnost její příslušnosti k danému rozdělení (Dobrovolný, 1998).



Obrázek 1 - Frekvenční funkce normálního rozdělení DN hodnot pro dva druhy povrchů "C" a "B" vypočtené z trénovacích ploch (Dobrovolný, 1998)

Na Obr. 1 je pro jednoduchost znázorněna frekvenční funkce pro dvě třídy pouze v jednom pásmu. Použije-li se stejný způsob znázornění klasifikovaných shluků pomocí korelačního pole dvou pásem multispektrálního obrazu a spojí-li se pro každý shluk místa o stejné pravděpodobnosti výskytu pixelu s určitou hodnotou, vzniknou izolinie, které mají často tvar elipsy (Obr. 2).



Obrázek 2 - Klasifikátor největší pravděpodobnosti – Maximum Likelihood Classifier (Dobrovolný, 1998)

Klasifikátor maximální pravděpodobnosti je výpočetně nejnáročnější a také daleko citlivější na případné nedostatky v trénovacích datech. V případě kvalitních trénovacích dat však dává nejlepší výsledky (Campbell 1996; Lillesand a Kiefer, 1994).

2.7.2 Neřízená klasifikace

Neřízená klasifikace se používá v případě, kdy není předem možné nadefinovat třídy nebo není ani stanoven jejich počet. Tato metoda poskytuje přehled o vnitřní struktuře datového souboru, je ale nutné, aby data nebyla uvnitř souboru uspořádána nahodile (Kolář, 1990).

Neřízená klasifikace vychází z předpokladu, že pixely, které patří do jedné třídy, jsou ve vícerozměrném prostoru blízko sebe a naopak pixely odlišných skupin, které představují povrchy lišící se spektrálním chováním, jsou dobře separované. Pomocí využití vícerozměrných statistických metod – tzv. shlukových analýz se poté v multispektrálním příznakovém prostoru vymezí odlišné skupiny (shluky). Výsledkem první fáze neřízené klasifikace nejsou ještě třídy informační, ale tzv. třídy spektrální. Těm je v interpretační fázi neřízené klasifikace dán určitý geografický obsah, jsou srovnány s jinými třídami, podpůrnými a referenčními daty (leteckými snímky, mapami, apod.), je jim přiřazena informační hodnota a stávají se tak třídami informačními (Dobrovolný, 1998).

Základní kroky obecné neřízené klasifikace jsou následující:

1. definování přibližného počtu výsledných shluků (minimální a maximální počet)
2. generování počáteční polohy centroidu (střední hodnoty) pro každý shluk
3. postupné přiřazení všech pixelů ke shluku, ke kterému mají v příznakovém prostoru nejblíže
4. výpočet nového centroidu na základě nově přiřazených pixelů
5. opakování kroků 3 a 4 do té doby, dokud se poloha shluku či počet pixelů zařazených do shluků výrazně nemění
6. přiřazení konkrétního významu každému tzv. stabilnímu shluku
7. vytváření informačních tříd agregací (spojováním) spektrálních tříd

Běžně používanými algoritmy neřízené klasifikace jsou např. algoritmus „K-means (Using PCI software 1977) nebo ISODATA (ERDAS Field Guide 1994). Jako rozhodovací pravidlo

je většinou použita modifikovaná metoda nejbližšího souseda, kdy vzdálenost mezi středy jednotlivých shluků je hodnocena různými měrami vzdálenosti (Dobrovolný, 1998).

2.7.2.1 Algoritmus ISODATA

Algoritmus ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique), který je využit v bakalářské práci, je rozšířením nejjednoduššího shlukovacího algoritmu K-means. Na počátku je definován počet požadovaných shluků a počet iterací. Pokud není k dispozici zakládající soubor středů shluků, jsou rozmístěny rovnoměrně v analyzovaném prostoru. Vlastní zařazování pixelů do jednotlivých shluků probíhá v jednotlivých iteracích podle následujících parametrů:

1. Shluk, který se stane heterogenním – měřeno hodnotou násobku směrodatné odchylky, zadanou na počátku výpočtu – je rozdělen na dva nové shluky.
2. Shluky, které jsou svými středy v analyzovaném vícerozměrném prostoru blíže, než je předem zadaná hodnota, jsou spojeny v jeden shluk.
3. Shluky, které obsahují méně pixelů, než je předem zadaná hodnota, jsou zrušeny a jejich pixely zařazeny ke shlukům okolním.

V důsledku spojování a rozdělování jednotlivých shluků v každé iteraci není výsledný počet stabilních shluků často shodný s požadovaným počtem shluků. Proto se požadovaný počet shluků často zadává určitým rozsahem minimálního a maximálního počtu. Parametry, které řídí spojování a rozdělování shluků, je možné mezi jednotlivými iteracemi měnit (Dobrovolný, 1998).

2.8 Hodnocení přesnosti klasifikace

Jak uvádí Lillesand a Kiefer (1994), klasifikace není ukončena, dokud není zhodnocena její přesnost. Za chybu v klasifikaci je považován případ, kdy danému prvku obrazu je přiřazen význam jiné třídy, než má ve skutečnosti. Přičemž jak uvádí Campbell (1996), pro chyby v klasifikaci obrazu platí následující:

- chybně klasifikované pixely se ve výsledném obrazu nevyskytují náhodně, ale mají určité prostorové uspořádání

- chybně klasifikované pixely jsou více méně asociovány pouze s určitými třídami
- chybně klasifikované pixely se většinou nevyskytují izolovaně, ale ve skupinách
- chybně klasifikované pixely jsou svým výskytem vázány na typické části klasifikovaných ploch

Přesnost výsledků je nutné hodnotit vždy s ohledem na polohu, Celková výměra nalezených tříd může být stejná pro referenční data i klasifikovaný snímek, jednotlivé třídy se však mohou značně lišit svou polohou.

Jak uvádí Dobrovolný (1998), jedním z nejvíce používaných přístupů k hodnocení přesnosti klasifikace je výpočet klasifikační chybové matice. Chybová matice porovnává u všech kategorií (informačních tříd) vztah mezi výsledky klasifikace a referenčními daty. Jako referenční data byla v bakalářské práci použita VMB. Chybová matice je čtvercová, počet řádků a sloupců odpovídá počtu hodnocených tříd. Pro objektivní testování klasifikace je nutné, aby se pixely, náhodně vygenerované pro srovnání s referenčními daty, nacházely mimo trénovací plochy.

Řádky představují klasifikovaná data (počet vygenerovaných pixelů), sloupce představují data referenční (pixely, kterým byla přiřazena skutečná hodnota). Při 100% přesnosti klasifikace je chybová matice diagonální. K tomu však nikdy nedochází. Počty pixelů mimo hlavní diagonálu představují chyby v klasifikaci. Ty mohou být dvojího druhu. Ve sloupcích mimo hlavní diagonálu jsou tzv. chyby z opomenutí. Chyba z opomenutí se vypočte jako podíl součtu všech pixelů mimo hlavní diagonálu dělený celkovým počtem pixelů dané třídy v referenčních datech. Druhým typem jsou tzv. chyby z nesprávného zařazení, které se nacházejí v řádcích chybové matice mimo hlavní diagonálu. Tuto chybu lze vyjádřit v procentech jako součet nesprávně zařazených pixelů dané třídy dělený celkovým počtem dané třídy v referenčních datech.

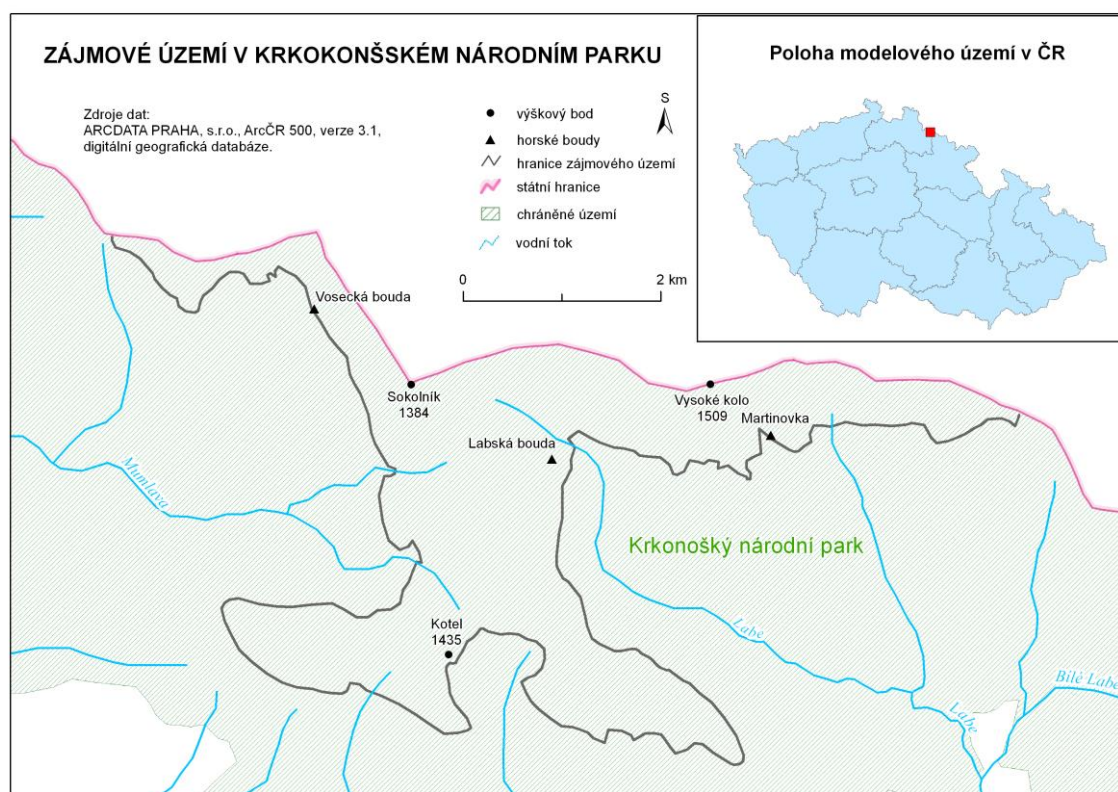
Na základě chybové matice je vypočítána celková přesnost klasifikace. Ta se vypočítá jako součet všech pixelů zařazených do správné třídy (pixely nacházející se na hlavní diagonále) dělený celkovým počtem vygenerovaných pixelů. Dále je vypočítána uživatelská a zpracovatelská přesnost. Uživatelská přesnost udává, jaká část pixelů byla

správně zařazená do dané třídy. Zpracovatelská přesnost udává, jaká část pixelů použitých pro testování dané třídy byla správně zařazena (Harris Geospatial Solutions, 2016)

3 Charakteristika oblasti

Krkonoše jsou nejvyšším hercynským pohořím rozkládajícím se těsně nad 50. rovnoběžkou s. š., jehož hřebeny výrazně ční nad alpínskou hranicí lesa. Představují tak izolovaný horský ostrov uprostřed rozlehlých nížin a pahorkatin střední Evropy. Od podobných pohoří ve Skandinávii, na Britských ostrovech nebo v jihozápadní Evropě dělí Krkonoše stovky kilometrů. Jsou proto přirozeným valem, který po tisíce let stojí v cestě vlhkému a studenému západnímu větrnému proudění od Atlantského oceánu.

Zájmové území (viz obrázek 3) se nachází v oblasti západní krkonošské tundry a má rozlohu přibližně 12,8 km².



Obrázek 3 - Přehledová mapa zájmového území v KRNAP

3.1 Krkonošská tundra

K pochopení existence tundry v Krkonoších je nutné si uvědomit jejich polohu na rozhraní horských masivů střední, západní a severní Evropy. Krkonoše ze všech vyšších hercynských středohoří nejvýrazněji převyšují alpínskou hranici lesa, která tady kolísá kolem 1300 m n. m. Zasahují tak do spodního (subalpínského) a svrchního alpínského vegetačního stupně se všemi průvodními rysy vysokohorské přírody. I přes obrovské rozlohy severoněmeckých a polských nížin, rozkládajících se mezi Krkonošemi a severskou tundrou, migrující živočichové a rostliny několikrát překonali bariéru o šířce 15 až 20 rovnoběžek a Krkonoše tak fungují i jako významný spojovací článek s přírodou severskou.

Během pleistocenního ochlazení se skandinávský ledovcový štít rozšířil jižním směrem a při jeho okrajích pronikla do střední Evropy severská tundra. Ledový štít hřbety Krkonoš sice nepřekonal, obrovské masy ledu ale způsobily výrazné ochlazení podnebí této části Evropy a periglaciální klima ovlivnilo vývoj reliéfu hor a utváření zdejší přírody. Po oteplení v holocénu vznikl v nejvyšších polohách Krkonoš ostrov bezlesé horské krajiny uprostřed střední Evropy a stabilizovala se zde početná populace reliktních severských a alpínských druhů. Dlouhodobá izolovanost nejvyšších hřebenů Krkonoš od okolních vysokých pohoří tady v době poledové vedla současně k specifickým mikroevolučním procesům a dalším projevům fenoménu ostrovní biogeografie a ke vzniku nových endemických druhů a poddruhů rostlin a živočichů. (Štursa, 2013).

Desetiletí podrobného výzkumu všech fenoménů přírody Velkých Sudet a intenzivní mezioborový srovnávací výzkum ekologických struktur a procesů vedly koncem 20. století k popisu, rozřídění a formulování fenoménu arktoalpínské tundry Krkonoš, resp. celých Vysokých Sudet, a její odlišnosti od tundrového prostředí ve skandinávských pohořích nebo Alpách (Soukupová, et al., 1995). Termín arktoalpínská tundra nejlépe vystihuje biogeografické vztahy a procesy, které se v prostoru střední Evropy odehrávaly v periglaciálních podmínkách během chladných období pleistocénu a počátku holocénu a jsou nadále udržovány současným chladným a vlhkým podnebím nejvyšších poloh Krkonoš (Štursa, 2013).

Krkonošská arkto-alpínská tundra představuje ojedinělou kombinaci severských, střeoevropských a alpínských organismů a jejich společenstev, Pokrývá území nad

alpínskou hranicí lesa, jehož plocha činí 47 km² – na české straně hor 32 km² a na polské straně hor 15 km² (KRNAP, 2011-?).

Jedná se o v celé střední Evropě unikátní prostředí. Zahrnuje ledovcové kary, alpinské trávníky a rašeliniště na náhorních plošinách (etchplénech) i mrazem a větrem formované nejvyšší vrcholy a klečové porosty (Kociánová et al., 2015).

4 Data a metodika

4.1 Použitá data

Následující kapitola obsahuje podrobnější popis použitých dat. K porovnání s výsledky mapování biotopů České republiky pro potřeby vymezení soustavy Natura 2000 byly použity družicové snímky WorldView-2 a Landsat 8.

4.1.1 Vrstva mapování biotopů NATURA 2000

Vrstva mapování biotopů (VMB) vznikla původně za účelem vytvoření aktuálního celoplošného podkladu, který měl sloužit pro odborně obhájitelný návrh evropsky významných lokalit pro typy přírodních stanovišť v rámci vytváření soustavy Natura 2000 v ČR, což byla jedna z podmínek pro vstup České republiky do Evropské unie v oblasti životního prostředí. V říjnu 1999 MŽP oficiálně pověřilo AOPK ČR zpracováním nezávislého odborného návrhu soustavy Natura 2000 (Hošek, 2009).

Projekt mapování biotopů ČR byl zahájen v roce 2000 a mapování probíhalo až do roku 2005. V roce 2006 na původní mapování navázal projekt Aktualizace VMB. Každoročně je aktualizována jedna dvanáctina území ČR, během dvanácti let by tedy měla být obnovena celá vrstva. Cílem Aktualizace VMB je udržet víceméně celoplošné informace o výskytu a stavu přírodních biotopů na území ČR.

Mapování biotopů bylo zahájeno v roce 2001 po vydání Katalogu biotopů České republiky (Chytrý, Kučera a Kočí, 2001), který sloužil jako základní příručka a mapovací legenda. Základním cílem Katalogu biotopů ČR bylo poskytnout jednoznačné vodítko pro mapování přírodních stanovišť na celém území České republiky a připravit tak podklady pro vymezení a vyhlášení lokalit soustav Natura 2000.

K prohlížení je VMB volně přístupná na mapovém serveru AOPK ČR. Úplná data ve formátu shapefile poskytuje AOPK ČR na vyžádání. Katalog biotopů ČR i jeho druhé vydání jsou dostupné v elektronické podobě.

4.1.2 Data družice WorldView-2



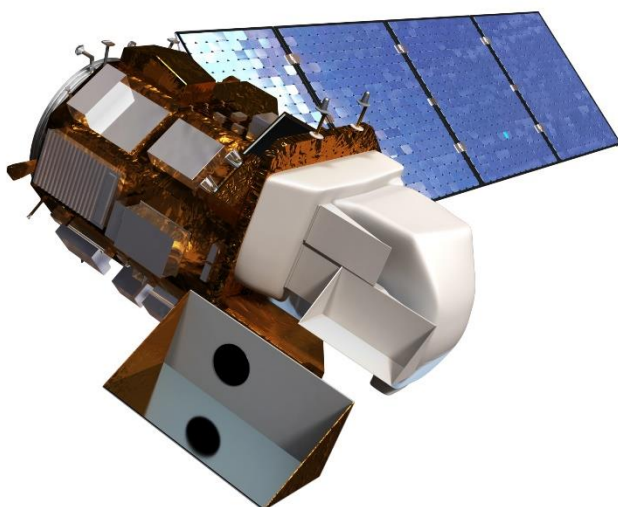
Obrázek 4 - Družice WorldView-2 (DigitalGlobal, 2016)

Družice WorldView-2 byla vynesena na oběžnou dráhu raketou Delta II 7920 dne 8. října 2009 z letecké vojenské základny Vandenberg v Kalifornii. Jedná se o první družici, která poskytuje multispektrální obraz s vysokým rozlišením pro komerční účely. Jejím provozovatelem je společnost DigitalGlobe (USA). Obíhá ve výšce 770 km. Pracuje v osmi pásmech a pořizuje snímky s prostorovým rozlišením 1,85 m pro multispektrální (barevná) data a 0,46 m pro panchromatická (černobílá) data. (DigitalGlobe, 2016)

Název pásma	Vlnová délka [μm]	Prostorové rozlišení (v nadíru)
Panchromatic	0,450 – 0,800	0,46 m
Coastal	0,400 – 0,450	1,85 m
Blue	0,450 – 0,510	1,85 m
Green	0,510 – 0,580	1,85 m
Yellow	0,585 – 0,625	1,85 m
Red	0,630 – 0,690	1,85 m
Red Edge	0,705 – 0,745	1,85 m
Near-IR1	0,770 – 0,895	1,85 m
Near-IR2	0,860 – 1,040	1,85 m

Tabulka 1 - WorldView-2 - charakteristika pásem (Zdroj: DigitalGlobe, 2016)

4.1.3 Data družice Landsat 8



Obrázek 5 – Družice Landsat 8 (USGS, 2016)

Družice Landsat 8 byla vynesena na oběžnou dráhu raketou Atlas-V 401 dne 11. února 2013 z letecké vojenské základny Vandenberg v Kalifornii. Obíhá ve výšce 705 km. Nese dva senzory – Operational Land Imager (OLI) a Thermal Infrared Sensor (TIRS). Senzor OLI pracuje v devíti pásmech viditelného a infračerveného spektra a pořizuje snímky s prostorovým rozlišením 30 m pro multispektrální (barevná) data a 15 m pro panchromatická (černobílá) data. Senzor TIRS pracuje ve dvou pásmech v infračerveném spektru a zajišťuje tepelná data s prostorovým rozlišením 100 m (Landsat Science, 2016).

Číslo pásma	Název pásma	Vlnová délka [μm]	Prostorové rozlišení	Sensor
1	Coastal/Aerosol	0,435 – 0,451	30 m	OLI
2	Blue	0,452 – 0,512	30 m	OLI
3	Green	0,533 – 0,590	30 m	OLI
4	Red	0,636 – 0,673	30 m	OLI
5	NIR	0,851 – 0,879	30 m	OLI
6	SWIR-1	1,566-1,651	30 m	OLI
7	SWIR-2	2,107 – 2,294	30 m	OLI
8	Pan	0,503 – 0,676	15 m	OLI
9	Cirrus	1,363 – 1,384	30 m	OLI
10	TIR-1	10,60 – 11,19	100 m	TIR
11	TIR-2	11,50 – 12,51	100 m	TIR

Tabulka 2 - Landsat 8 - charakteristika pásem (Landsat Science, 2013)

4.2 Metody

4.2.1 Předzpracování dat

Použitý družicový snímek WV-2 byl pořízen 22. července 2014. Data družice Landsat 8 jsou volně dostupná z archivu Landsat na adrese <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Bylo nutné vybrat snímek, který časově i prostorově přibližně odpovídá snímku z družice WV-2. Jelikož snímky z roku 2014 nebyly použitelné z důvodu velkého pokrytí oblačností, byl zvolen snímek pořízený 27. 7. 2013 s identifikačním číslem LC81910252013208LGN00.

Snímek WV-2 byl ortorektifikován pomocí digitálního modelu povrchu vytvořeného na základě leteckého laserového skenování (s hustotou 5 bodů/m²). Pro potřeby bakalářské práce byl poskytnut již ortorektifikovaný snímek.

Oba snímky byly oříznuty funkcí Resize data podle vektorové vrstvy hranice západní krkonošské tundry. Dále byla pro oba snímky vytvořena maska oblačnosti a stínu oblačnosti pomocí funkce Build Mask.

4.2.2 Klasifikační legenda

Klasifikační legendy byly vytvořeny na základě dat z mapování biotopů pro potřeby vymezení soustavy Natura 2000 podle Katalogu biotopů České republiky (Chytrý, Kučera a Kočí, 2001). Byly vytvořeny celkem dvě legendy na dvou úrovních – na úrovni formačních skupin, které jsou dále děleny na základní jednotky klasifikace biotopů.

	Formační skupina	Rozloha (m²)
A	Alpínské bezlesí	9506835,7
L	Lesy	1375552,8
R	Prameniště a rašeliniště	1622272,3
T	Sekundární trávníky a vřesoviště	21354,14
X	Biotopy silně ovlivněné nebo vytvořené člověkem	81632,34

Tabulka 3 - Klasifikační legenda Natura 2000 – 1. úroveň

V modelovém území se nachází pět formačních skupin a 18 základních jednotek klasifikace biotopů.

	Základní jednotka klasifikace biotopů	Rozloha (m²)
A1	Alpínské trávníky	4381808,42
A2	Alpínská a subalpínská keříčková vegetace	473949,22
A3	Sněhová vyležiska	3625,64
A4	Subalpínská vysokobylinná vegetace	2029367,71
A6	Acidofilní vegetace alpinských skal a drolin	551286,36
A7	Kosodřevina	1962101,03
A8	Subalpínské listnaté křoviny	104697,36
L5	Bučiny	1569,55
L9	Smrčiny	1373983,25
R1	Prameniště	14683,46
R2	Slatinná a přechodová rašeliniště	136401,12
R3	Vrchoviště	1471187,71
T2	Smilkové trávníky	21354,14
X1	Urbanizovaná území	5079,57
X6	Antropogenní plochy se sporadickou vegetací mimo sídla	20781,06
X7	Ruderální bylinná vegetace mimo sídla	35825,42
X9	Lesní kultury s nepůvodními dřevinami	861,29
X10	Paseky s podrostem původního lesa	19085,00

Tabulka 4 - Klasifikační legenda Natura 2000 – 2. úroveň

Aby výsledky klasifikací mohly být snadno porovnány, byla pro řízenou i neřízenou klasifikaci obou snímků použita stejná legenda. Jelikož mají data Landsat 8 nižší prostorové rozlišení, bylo nutné legendu vytvořenou na základě mapování biotopů ČR pro potřeby Natura 2000 upravit a sloučit některé kategorie.

1 alpínské bezlesí a sekundární trávníky a vřesoviště
2 lesy
3 prameniště a rašeliniště
4 biotopy silně ovlivněné nebo vytvořené člověkem

Tabulka 5 - Použitá klasifikační legenda - 1. úroveň

1 alpské a smilkové trávníky, sněhová výležiště
2 alpská a subalpínská keříčková vegetace, subalpínská listnaté křoviny
3 subalpínská vysokobylinná vegetace
4 acidofilní vegetace alpských skal a drovin
5 kosodřevina
6 bučiny a smrčiny
7 prameniště; slatinná a přechodová rašeliniště
8 vrchoviště
9 biotopy silně ovlivněné nebo vytvořené člověkem

Tabulka 6 - Použitá klasifikační legenda - 2. úroveň

4.2.3 Postup klasifikace

Všechny klasifikace byly provedeny v SW ENVI 5.1. Trénovací polygony byly vytvářeny za pomoci VMB.

4.2.4 Trénovací polygony

Před zahájením řízené klasifikace je nutné vytvořit trénovací polygony. Ty musely být vzhledem k odlišnému prostorovému rozlišení snímků vytvořeny pro každý snímek zvlášť. Trénovací polygony byly nasbírány s využitím vrstvy mapování biotopů Natura 2000. Trénovací polygony byly vybrány tak, aby byly rovnoměrně rozprostřeny po celém území a neobsahovaly jiné kategorie land coveru. Počet trénovacích polygonů byl vybrán proporcionálně s ohledem na rozlohu jednotlivých kategorií. Tabulky 8-11 obsahují počet trénovacích polygonů a jejich rozlohu pro oba snímky a obě úrovně legendy.

Třída	Trénovací polygony (celkový počet)	Rozloha (m ²)
1 alpské trávníky, sekundární trávníky a vřesoviště	15	2156400
2 lesy	6	436500
3 prameniště a rašeliniště	4	192600
4 biotopy silně ovlivněné nebo vytvořené člověkem	3	26100

Tabulka 7 - Počet a rozloha trénovacích polygonů pro snímek Landsat 8, 1. úroveň legendy

Třída	Trénovací polygony (celkový počet)	Rozloha (m²)
1 alpské trávníky, sekundární trávníky a vřesoviště	18	885708
2 lesy	8	63040
3 prameniště a rašeliniště	4	13708
4 biotopy silně ovlivněné nebo vytvořené člověkem	6	9376

Tabulka 8 - Počet a rozloha trénovacích polygonů pro snímek WorldView-2, 1. úroveň legendy

Třída	Trénovací polygony (celkový počet)	Rozloha (m²)
1 alpské a smilkové trávníky, sněhová výležiště	13	525600
2 alpská a subalpínská keříčková vegetace, subalpínská listnaté křoviny	5	50400
3 subalpínská vysokobylinná vegetace	7	318600
4 acidofilní vegetace alpských skal a drolin	6	159300
5 kosodřevina	9	549000
6 bučiny a smrčiny	7	190800
7 prameniště; slatinná a přechodová rašeliniště	4	29700
8 vrchoviště	8	158400
9 biotopy silně ovlivněné nebo vytvořené člověkem	3	18000

Tabulka 9 - Počet a rozloha trénovacích polygonů pro snímek Landsat 8, 2. úroveň legendy

Třída	Trénovací polygony (celkový počet)	Rozloha (m²)
1 alpské a smilkové trávníky, sněhová výležiště	12	119744
2 alpská a subalpínská keříčková vegetace, subalpínská listnaté křoviny	6	17860
3 subalpínská vysokobylinná vegetace	6	16640
4 acidofilní vegetace alpských skal a drolin	6	17008
5 kosodřevina	6	27004
6 bučiny a smrčiny	8	19228
7 prameniště; slatinná a přechodová rašeliniště	3	4784
8 vrchoviště	7	11520
9 biotopy silně ovlivněné nebo vytvořené člověkem	6	7468

Tabulka 10 - Počet a rozloha trénovacích polygonů pro snímek WorldView-2, 2. úroveň legendy

4.2.5 Řízená klasifikace

Řízená klasifikace byla provedena pomocí funkce *Classification – Supervised Classification – Maximum Likelihood Classification*. V prvním kroku nastavení klasifikátoru byly zvoleny trénovací polygony. Pro oba snímky a všechny úrovně legendy byl *Probability Threshold* nastaven na hodnotu *None* a *Data Scale Factor* byl nastaven na hodnotu 2047, vypočítanou pomocí vzorce $2^n - 1$, kde n značí radiometrické rozlišení skeneru (Harris Geospatial Solutions, 2016).

4.2.6 Neřízená klasifikace

Neřízená klasifikace byla provedena pomocí funkce *Classification – Unsupervised Classification – IsoData Classification*. Pro oba snímky byl minimální počet tříd nastaven na 10 a maximální na 60. Pro snímek Landsat 8 byl maximální počet iterací nastaven na 300 a minimální počet pixelů ve třídě 20. Pro snímek WorldView-2 byl maximální počet iterací nastaven na 600 a minimální počet pixelů ve třídě 200.

Výsledné spektrální třídy byly spojeny nástrojem *Combine Classes*, tak aby vznikly třídy informační, které se co nejlíže přibližovaly výsledkům mapování biotopů Natura 2000.

4.2.7 Hodnocení přesnosti

Po provedení každé klasifikace musí být zhodnocena její přesnost. K hodnocení přesnosti klasifikací byl využit program ENVI 5.1 a chybové matice.

V SW ENVI 5.1 byl z menu pomocí *Classification – Post Classification – Generate Random Sample Using Ground Truth Image* vygenerován náhodný vzorek pixelů. Bylo zvoleno náhodné rozmístění pixelů (*Stratified Random*) a počet generovaných pixelů pro jednotlivé třídy. V závislosti na velikosti třídy bylo pro snímek Landsat 8 generováno 5 až 20 pixelů, pro snímek WV-2 50 až 200 pixelů. Vygenerovaný náhodný vzorek byl převeden na soubor typu shapefile, který byl následně nahrán do SW ArcMap 10.2 a na základě vrstvy mapování Natura 2000 byla každému pixelu přiřazena jeho reálná třída.

Výsledný soubor byl nahrán zpět do SW ENVI 5.1 a s jeho využitím byla vygenerována pomocí *Classification – Post Classification – Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs* chybová matice.

5 Výsledky

V následující kapitole budou shrnuty výsledky jednotlivých klasifikací a porovnány s mapováním Natura 2000. V první části bude porovnáno relativní zastoupení jednotlivých tříd ve výsledných klasifikacích a porovnána jejich celková rozloha. V druhé části budou zpracované přesnosti jednotlivých klasifikací ve vztahu k mapování Natura 2000.

5.1 Relativní zastoupení tříd a jejich rozloha

V tabulkách 11 a 12 jsou uvedeny hodnoty relativního zastoupení tříd pro data Natura 2000 a oba snímky. Hodnoty byly získány jako poměr rozlohy dané třídy ku celkové rozloze zájmového území. U klasifikací byly odečteny rozlohy míst pokrytých oblačností a stínem oblačnosti. Tabulky 13 a 14 obsahují rozlohy jednotlivých tříd pro data Natura 2000 a oba snímky. Celková rozloha území se s mapováním Natura kvůli přítomnosti oblačnosti a stínů oblačnosti ve snímcích zcela neshoduje.

Legenda:

- (1) alpské bezlesí a sekundární trávníky a vřesoviště, (2) lesy, (3) prameniště a rašeliniště, (4) biotopy silně ovlivněné nebo vytvořené člověkem

	Natura 2000	Landsat 8		WorldView-2	
Klasifikátor		MLC	ISODATA	MLC	ISODATA
Třída	Relativní zastoupení (%)				
1	75,57	38,99	80,74	38,71	82,95
2	10,91	26,74	14,16	38,92	7,92
3	12,87	26,97	4,11	15,56	8,94
4	0,65	7,29	0,99	6,82	0,19

Tabulka 11 - Relativní zastoupení tříd pro 1. úroveň legendy pro data Natura 2000 a snímky Landsat 8 a WorldView-2

	Natura 2000	Landsat 8		WorldView-2	
Klasifikátor		MLC	ISODATA	MLC	ISODATA
Třída	Rozloha (m²)				
1	9528190	4831200	10003500	4378392	9382224
2	1375553	3312900	1754100	4401976	896092
3	1622272	3341700	509400	1759796	1011052
4	81632	903600	122400	771076	21872
celkem (m²)	12607647	12389400	12389400	11311240	11311240

Tabulka 12 - Rozloha tříd pro 1. úroveň legendy pro data Natura 2000 a snímky Landsat 8 a WorldView-2

Z tabulek 11 a 12 vyplývá, že nejvíce se relativnímu zastoupení/rozlohám z mapování Natura 2000 přiblížil výsledek klasifikace ISODATA snímku WorldView-2. Dobře dopadla i neřízená klasifikace snímku Landsat 8. Na úrovni tříd byla pro oba snímky nejúspěšnější neřízená klasifikace tříd (1) a (2). Naopak řízená klasifikace třídy (1) vykazuje velké rozdíly ve srovnání s vrstvou Natura 2000.

Z tabulek 13 a 14 vyplývá, že klasifikace na 2. úrovni legendy jsou ve srovnání s klasifikacemi na 1. úrovni legendy podstatně horší. Nejúspěšnější byla relativně klasifikace třídy (4) u obou snímků a metod klasifikací. Relativnímu zastoupení z dat Natura 2000 se také velmi dobře přiblížila kategorie (5) klasifikována neřízenou klasifikací na snímku WorldView-2 a kategorie (9) klasifikována neřízenou klasifikací na snímku Landsat 8. Nejhuře dopadla kategorie (2) klasifikována řízenou klasifikací na snímku WorldView-2.

Legenda:

(1) alpínské a smilkové trávníky, sněhová výležiška, (2) alpínská a subalpínská keříčková vegetace, subalpínská listnaté křoviny, (3) subalpínská vysokobylinná vegetace, (4) acidofilní vegetace alpínských skal a drolin, (5) kosodřevina, (6) bučiny a smrčiny, (7) prameniště; slatinná a přechodová rašeliniště, (8) vrchoviště, (9) biotopy silně ovlivněné nebo vytvořené člověkem

	Natura 2000	Landsat 8		WorldView-2	
Klasifikátor		MLC	ISODATA	MLC	ISODATA
Třída	Relativní zastoupení (%)				
1	34,95	23,43	46,93	22,07	48,55
2	4,59	6,78	0,85	13,22	5,95
3	16,10	23,01	10,32	12,51	7,79
4	4,37	5,19	5,45	3,44	4,46
5	15,56	7,61	17,19	9,25	16,2
6	10,91	14,63	14,16	13,93	7,92
7	1,20	6,49	0,76	13,79	2,19
8	11,67	10,35	3,36	7,03	6,74
9	0,65	2,52	0,99	4,76	0,19

Tabulka 13 - Relativní zastoupení tříd pro 2. úroveň legendy pro data Natura 2000 a snímky Landsat 8 a WorldView-2

	Natura 2000	Landsat 8		WorldView-2	
Klasifikátor		MLC	ISODATA	MLC	ISODATA
Třída	Rozloha (m ²)				
1	4406788	2902500	5814900	2496232	5419684
2	578646	839700	105300	1495160	672620
3	2029368	2850300	1278000	1415160	880964
4	551286	643500	675000	389488	504964
5	1962101	942300	2130300	1046680	1831992
6	1375553	1812600	1754100	1575792	896092
7	151084	803700	93600	1559480	248136
8	1471188	1282500	415800	794844	762916
9	81632.34	312300	122400	538404	21872
celkem m²	12607647	12389400	12389400	11311240	11239240

Tabulka 14 - Rozloha tříd pro 2. úroveň legendy pro data Natura 2000 a snímky Landsat 8 a WorldView-2

5.2 Přesnost klasifikace

Tabulka 15 zobrazuje celkovou přesnost jednotlivých klasifikací a koeficient kappa. Tabulky 16 a 17 obsahují informace o uživatelské a zpracovatelské přesnosti pro jednotlivé třídy pro obě úrovně legendy.

	1. úroveň legendy				2. úroveň legendy			
	Landsat 8		WorldView-2		Landsat 8		WorldView-2	
	CP (%)	κ	CP (%)	κ	CP (%)	κ	CP (%)	κ
MLC	55,05	0,34	41	0,09	41,04	0,29	26,72	0,15
ISODATA	64,1	0,04	67,16	0,1	46,23	0,28	33,53	0,11

Tabulka 15 - Celková přesnost (CP) klasifikací a koeficient kappa pro obě úrovně legendy a oba snímky

Jak vyplývá z tabulky 15, nejvyšší celkové přesnosti se u obou snímků dosáhlo neřízenou klasifikací ISODATA podle 1. úrovně legendy. Pro snímek Landsat 8 to bylo 64,1 %, pro snímek WorldView-2 67,16 %. Nejhorší dopadla pro oba snímky řízená klasifikace MLC podle 2. úrovně legendy. Pro snímek Landsat 8 bylo dosaženo celkové přesnosti 41,04 %, pro snímek WorldView-2 pouhých 26,72 %. Z tabulek 16 a 17 lze vyčíst, že ve většině případů byla nejvyšší uživatelská přesnost dosažena pro kategorii (1) alpínské bezlesí a sekundární trávníky a vřesoviště pro 1. úroveň legendy a (1) alpínské a smilkové trávníky, sněhová výležiska pro druhou úroveň legendy. Nejvyšší zpracovatelská přesnost byla dosažena pro 1. úroveň legendy u snímku Landsat 8 a kategorie (4) biotopy silně ovlivněné nebo vytvořené člověkem, kde dosáhla 100 %. Naopak pro druhou úroveň legendy tato kategorie dopadla nejhorší a zpracovatelská přesnost u neřízené klasifikace byla 0 %.

Legenda: (1) alpínské bezlesí a sekundární trávníky a vřesoviště, (2) lesy, (3) prameniště a rašeliniště, (4) biotopy silně ovlivněné nebo vytvořené člověkem

Třída	Landsat 8				WorldView-2			
	MLC		ISODATA		MLC		ISODATA	
	UP (%)	ZP (%)	UP (%)	ZP (%)	UP (%)	ZP (%)	UP (%)	ZP (%)
1	90	49	77	80	84	41	77	85
2	47	80	10	15	15	61	21	13
3	20	52	14	5	21	29	18	13
4	29	100	20	100	6	32	17	19

Tabulka 16 - Uživatelská (UP) a zpracovatelská (ZP) přesnost klasifikace pro 1. úroveň legendy pro oba snímky

Legenda: (1) alpínské a smilkové trávníky, sněhová výležiska, (2) alpínská a subalpínská keříčková vegetace, subalpínská listnaté dřeviny, (3) subalpínská vysokobylinná vegetace, (4) acidofilní vegetace alpínských skal a drolin, (5) kosodřevina, (6) bučiny a smrčiny, (7) prameniště; slatinná a přechodová rašeliniště, (8) vrchoviště, (9) biotopy silně ovlivněné nebo vytvořené člověkem

	Landsat 8				WorldView-2			
	MLC		ISODATA		MLC		ISODATA	
Třída	UP (%)	ZP (%)	UP (%)	ZP (%)	UP (%)	ZP (%)	UP (%)	ZP (%)
1	81	47	52	83	65	35	48	60
2	13	36	20	4	10	25	10	11
3	20	33	53	42	12	15	24	11
4	50	58	63	51	36	36	23	41
5	50	18	40	41	30	22	22	25
6	28	55	35	34	19	25	25	24
7	20	100	0	0	4	34	2	3
8	40	66	29	8	33	16	19	9
9	29	27	0	0	3	22	7	4

Tabulka 17 - Uživatelská (UP) a zpracovatelská (ZP) přesnost klasifikace pro 2. úroveň legendy pro oba snímky

5.3 Grafické výstupy

Dalšími výsledky této bakalářské práce jsou mapové výstupy. V příloze 1 až 3 se nachází mapy Natura 2000 s legendami. Přílohy 4 až 12 jsou mapovými výstupy klasifikací obou snímků na obou úrovních legendy.

6 Diskuze

Hlavním cílem bakalářské práce bylo zjistit, které kategorie mapování Natura 2000 lze detekovat pomocí dat DPZ a jaký zdroj dat a způsob klasifikace je pro to nejvhodnější. Území krkonošské tundry je velmi heterogenní s vysokou druhovou rozmanitostí. Hranice mezi jednotlivými kategoriemi land cover je tedy často velmi těžké určit. To mělo vliv na výsledky klasifikací.

Mapování Natura 2000 obsahuje celkem 3 úrovně legendy. Již na 1. úrovni legendy však nebylo možné rozlišit formační skupinu „sekundární trávníky a vřesoviště“ od formační skupiny „alpínské bezlesí“. Tyto dvě kategorie bylo tedy nutné sloučit. Rozlišení jednotlivých kategorií na 2. úrovni bylo ještě složitější. Z 18 základních jednotek klasifikace biotopů bylo vytvořeno 9 kategorií a i tak byla celková přesnost těchto klasifikací nízká. Z tohoto důvodu nebyla již provedena klasifikace na 3. úrovni legendy Natura 2000.

Nejvyšší přesnosti bylo pro oba snímky dosaženo pomocí neřízené klasifikace podle 1. úrovně legendy. Pro snímek WorldView-2 to bylo 67,16 % a pro snímek Landsat 8 64,1 %. Řízená klasifikace podle 1. úrovně legendy pro snímek Landsat 8 měla celkovou přesnost 55,05 % a pro snímek WorldView-2 41 %. Tento fakt byl zřejmě zapříčiněn tím, že při tvorbě trénovacích ploch pro řízenou klasifikaci je velmi složité získat „čistý“ vzorek, který by neobsahoval žádné jiné kategorie. Naopak spektrální vlastnosti 4 vytvořených kategorií jsou dostatečně odlišné, aby je pomocí neřízené klasifikace bylo možné oddělit.

Pro 2. úroveň legendy byla opět o něco vyšší celková přesnost neřízené klasifikace. Tentokrát byl s větší celkovou přesností klasifikován snímek Landsat 8. Pro něj bylo dosaženo CP 46,23 %, pro snímek WorldView-2 pak 33,53 %. Nejhůře dopadla řízená klasifikace snímku WorldView-2, jejíž celková přesnost vyšla pouhých 26,72 %. Řízená klasifikace snímku Landsat 8 dosáhla celkové přesnosti 41,04 %. Vyšší prostorové rozlišení snímku WorldView v tomto případě způsobuje nižší celkovou přesnost klasifikace. Neřízená klasifikace tedy byla schopná detekovat například jednotlivé stromy, které v jiných kategoriích tvořily většinu, nebo naopak byly špatně klasifikovány řídké lesy.

Pro obě úrovně legendy byla dosažena nízká přesnost u formační skupiny prameniště a rašeliniště a její jednotky. Rozlišení této kategorie na základě dat DPZ je složité, jelikož závisí na aktuálních podmínkách při pořízení snímku. Pokud má vegetace ostatních kategorií

vysokou vlhkost, může být na základě spektrálních vlastností do této formační skupiny zařazena.

Nízké přesnosti dosahovala také formační skupina biotopy silně ovlivněné nebo vytvořené člověkem. Zde to ale nebylo kvůli chybné klasifikaci družicových snímků, ale kvůli nepřesnému mapování Natura 2000. Zvláště při klasifikaci snímku WorldView-2 byly velmi dobře odlišeny komunikace a zástavba, většina jich však měla ve VMB jinou kategorii. Při hodnocení přesnosti tedy musely být považovány za chybnou klasifikaci, i když podle družicových snímků byly zařazeny dobře. Dalším důvodem chyby mohla být také zastaralost dat Natura 2000, která jsou aktualizována každých pět let.

Klasifikaci dat DPZ na základě legendy a trénovacích dat připravených pro mapování metodami DPZ se ve své práci zabývala Suchá (2016). Modelové území bylo totožné s modelovým územím této bakalářské práce. Výsledky práce Suché se tedy dají použít pro srovnání s daty Natura 2000. Kromě stejných družicových snímků, použitých i v této bakalářské práci, využila navíc letecká ortofota s vysokým prostorovým rozlišením 12,5 cm. Letecká data byla klasifikována objektovou klasifikací, která je pro tento typ dat vhodnější. Data WorldView-2 byla klasifikována objektově i pixelově. Data Landsat 8 byla klasifikována pouze pixelově. Pro objektovou klasifikaci byl využíván přístup Example-based a algoritmus SVM. Z algoritmů pro pixelovou klasifikaci byly porovnány klasifikátory MLC, SVM a NN. Základní podrobná legenda vytvořená ve spolupráci s botanikem obsahuje celkem 12 tříd: (1) kamenná moře a antropogenní plochy, (2) smrkové porosty, (3) kosodřevina, (4) subalpínská brusnicová vegetace, (5) alpské trávníky zapojené, (5a) smilka tuhá, (5b) druhově bohaté porosty s vysokým zastoupením dvouděložných, (6) subalpínské vysokostébelné trávníky, (6a) třtina chloupkatá, (6b) bezkolenec modrý, (6c) metlice trsnatá, (7) subalpínské vysokobylinné trávníky, (8) alpská vřesoviště, (9) mokřady a rašeliniště, (10) vodní plochy (klasifikovány pouze z ortofot). Zjednodušená legenda obsahuje 8 tříd a byla použita pro klasifikaci všech zmíněných typů dat za účelem jejich porovnání. Třídy zjednodušené legendy jsou: (1) kamenná moře a antropogenní plochy, (2) smrkové porosty, (3a) kosodřevina hustá (> 80 % porostu), (3b) kosodřevina řídká (30 – 80 % porostu), (4) alpské trávníky zapojené s vysokým zastoupením smilky tuhé, (5) trávy (vyjma smilky tuhé) a subalpínská brusnicová vegetace, (6) alpská vřesoviště, (7) mokřady a rašeliniště, (8) vodní plochy (klasifikovány pouze z ortofot).

Některé třídy legendy jsou totožné s legendou Natura 2000, nejvíce se blíží 3. úrovni legendy. Konkrétně se jedná o antropogenní plochy (kamenná moře však v legendě Natura chybí), smrkové porosty (smrčiny), subalpínskou brusnicovou vegetaci, zapojené alpinské trávníky, smilka tuhá (v legendě Natura 2000 je jednotka subalpínské smilkové trávníky s dvěma podjednotkami), subalpínské vysokobylinné trávníky, alpinská vrchoviště, mokřady a rašeliniště. Legenda připravená botanikem je tedy pro mapování pomocí DPZ vhodnější než legenda Natura 2000, jelikož skutečnou vegetaci krkonošské tundry lépe vystihuje. Nejlepší výsledky byly dosaženy pro ortofota, v případě podrobné (celková přesnost klasifikace 83,56 %) i zjednodušené (71,96 %) legendy. Klasifikace WV-2 dosáhla nejlepšího výsledku v případě objektového přístupu a zjednodušené legendy (68,4 %), při pixelové klasifikaci byla nejpřesnější metoda SVM s využitím podrobné legendy (60,82 %). Data Landsat byla nejpřesněji klasifikována s využitím MLC, kdy bylo dosaženo celkové přesnosti 78,31%. Většinou byla dobře vyklasifikována také kategorie kosodřevina. Pro podrobnou legendu dosahovala dobré přesnosti kategorie subalpínská brusnicová vegetace. Naopak horší výsledky byly zaznamenány při klasifikování podkategorií třídy subalpínské vysokostébelnaté trávníky. Na základě výsledků studie bylo usouzeno, že v případě multispektrálních dat s různým prostorovým rozlišením je problém najít takovou kompromisní legendu, která by vyhovovala všem prostorovým rozlišením. Při sestavování legendy se tedy vždy musí přihlídnout k prostorovému rozlišení dat. To bylo potvrzeno i v této bakalářské práci.

Dalším důležitým výstupem této bakalářské práce je zjištění, že legenda Natura má (nejen z pohledu DPZ) několik nedostatků. Například v první úrovni legendy je definována kategorie „lesy“, která se v krkonošské tundře nevyskytuje. Vyskytují se zde porosty kosodřeviny a dále skupiny smrků, které ale nelze označit za les v pravém slova smyslu. Dalším problémem legendy mapování Natura jsou kategorie složené z několika do značné míry odlišných podkategorií – například kategorie „alpínské bezlesí a sekundární trávníky a vřesoviště“. Tato kategorie byla uměle vytvořena botaniky proto, že zahrnuje z jejich pohledu podobné podkategorie. Spektrální rozmanitost těchto podkategorií může ale být značně velká a pro mapování pomocí DPZ není tato kategorie vhodná. Třetí problém legendy Natura je možné spatřovat v tom, že ani ve druhé úrovni příliš nerozlišuje travinná společenstva, která jsou v krkonošské tundře rozmanitá a navíc některá z nich expandují na úkor jiných, což je aktuální ochranný problém, který je dobré mapovat a monitorovat.

7 Závěr

Cílem práce bylo porovnat výsledky mapování Natura 2000 s výsledky analýz dat s využitím přístupů DPZ, analyzovat legendu mapování Natura a zjistit, které kategorie legendy Natura se dají pomocí dat DPZ detekovat. Zájmovým územím byla oblast západní arкто-alpínské tundry v Krkonoších. Analyzovány byly snímky Landsat 8 a WorldView-2 s využitím metod řízené a neřízené klasifikace. Pro řízenou klasifikaci byl použit klasifikátor Maximum Likelihood a pro neřízenou klasifikaci algoritmus ISODATA. Pro klasifikaci byly vytvořeny 3 úrovně legendy podle mapování Natura 2000. Vzhledem k nízké celkové přesnosti klasifikací podle 2. úrovně legendy nebyla již klasifikace podle 3. úrovně provedena. Na základě celkové přesnosti klasifikace bylo dosaženo nejlepších výsledků při použití neřízené klasifikace snímku WorldView-2 podle 1. úrovně legendy, kde celková přesnost byla 67,16 %. I u snímku Landsat 8 bylo nejlepšího výsledku dosaženo neřízenou klasifikací podle 1. úrovně legendy, kde celková přesnost dosáhla 64,1 %. Nejnížší celková přesnost klasifikace byla dosažena neřízenou klasifikací snímku WorldView-2 při použití 2. úrovně legendy, kdy byla celková přesnost pouhých 26,72 %.

Z bakalářské práce tedy vyplynulo, že legenda mapování biotopů Natura 2000 není zcela v souladu s informací obsaženou v použitých datech DPZ. Při klasifikaci dat DPZ na základě legendy mapování Natura se ukázalo jako vhodnější použití neřízené klasifikace než řízené klasifikace MLC. Lépe klasifikovat se ale podařilo pouze kategorie, které měly dostatečně odlišné spektrální vlastnosti. Vysoké prostorové rozlišení snímků může být v případě aplikace legendy Natura spíše nevýhodou, jelikož mohou být klasifikovány jednotlivé prvky vegetačního pokryvu, které tvoří v oblasti minoritu a do dané kategorie biotopu tak nepatří. Při řízené klasifikaci vysoké prostorové rozlišení ztěžuje možnost vytvořit „čisté“ trénovací plochy bez přítomnosti jiných druhů biotopů. Dochází tak tedy k velkým nepřesnostem klasifikace. Zde je důležité zabývat se mírou generalizace kategorií land cover ve vztahu k prostorovému rozlišení dat DPZ.

Velmi dobře lze pomocí mapování DPZ odlišit komunikace a zástavbu. Ty ve vrstvě mapování Natura 2000 často zcela chybí. Mapování pomocí dálkového průzkumu Země by tedy mohlo sloužit k doplnění těchto kategorií a snazší aktualizaci dat mapování Natura 2000 bez nutnosti náročného mapování v terénu. Z práce vyplynulo, že pohled botaniků na land cover krkonošské tundry vyjádřený prostřednictvím legendy mapování Natura není totožný

s „pohledem“ dálkového průzkumu Země. Potvrdilo se, že při mapování s využitím DPZ je důležitá spolupráce geoinformatiků s botaniky, zejména při tvorbě legendy a definici jejich jednotlivých tříd.

Použitá literatura

AOPK ČR (2016): Co je Natura 2000 [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.nature.cz/natura2000-design3/sub-text.php?id=2102>

BRATSCH, S.N. et al. (2016): Differentiating among Four Arctic Tundra Plant Communities at Ivotuk, Alaska Using Field Spectroscopy. *Remote Sens.* 8, 51.

CAMPBELL, J. B. (1996): *Introduction to Remote Sensing*. Taylor & Francis, London, 622 s.

CONGALTON, R. G. (1991): A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37, s. 35–46.

DIGITAL GLOBE (2013): *WorldView-2* [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: http://global.digitalglobe.com/sites/default/files/DG_WorldView2_DS_PROD.pdf

DOBROVOLNÝ, P. (1998): *Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 208 s. ISBN 80-210-1812-7.

FEILHAUER, H. et al. (2014): Mapping the local variability of Natura 2000 habitats with remote sensing. *Applied Vegetation Science* [online]. 17(4), 765-779 [cit. 2016-06-27]. DOI: 10.1111/avsc.12115. ISSN 14022001. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/avsc.12115>

HARRIS GEOSPATIAL SOLUTIONS (2016): Supplying a proper data scaling factor in ENVI Maximum Likelihood Classification [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.harrisgeospatial.com/docs/CalculatingConfusionMatrices.html>

HARRIS GEOSPATIAL SOLUTIONS (2006): Calculate Confusion Matrices (Using ENVI) [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.harrisgeospatial.com/Support/HelpArticlesDetail/TabId/219/ArtMID/900/ArticleID/4059/4059.aspx>

HOŠEK M., HÄRTEL, H. & LONČÁKOVÁ, J. (2009): *Mapování biotopů v České republice. Východiska, výsledky, perspektivy*. 1. vydání. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. 125 s. ISBN 978-80-87051-36-8.

CHYTRÝ, M., KUČERA, T. & KOČÍ M. (2001): *Katalog biotopů České republiky: interpretační příručka k evropským programům Natura 2000 a Smaragd; předmluva: ROTH, P.* Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. ISBN 80-86064-55-7.

JAKEŠOVÁ, L. (2014): *Možnosti objektově-orientované klasifikace pro určování vybraných biotopů nad horní hranicí lesa v Krkonošském národním parku*. Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PřF, Univerzita Karlova v Praze, 60 s.

KOLÁŘ, J. (1990): Dálkový průzkum Země. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 170 s. Populární přednášky o fyzice, sv. 35. ISBN 80-03-00517-5.

KOCIÁNOVÁ, M., ŠTURSA, J. & VANĚK, J. (2015): Krkonošská tundra. Vrchlabí: Správa Krkonošského národního parku. ISBN 978-80-87706-95-4.

KRNAP (201-?): Krkonošská arko-alpínská tundra [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.krnep.cz/krkonosska-arkto-alpinska-tundra/>

LANDSAT SCIENCE (2016): Landsat 8 [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3186>

LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W. (1994): Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 750 s.

MORA, C. et al. (2015): Land cover classification using high resolution aerial photography in Adventdalen, Svalbard. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, 97, s. 473–488. doi:10.1111/geoa.12088

MÜLLEROVÁ, J. (2005): Use of digital aerial photography for sub-alpine vegetation mapping: A case study from the Krkonoše Mts., Czech Republic. Plant Ecology, 175, č. 2, s. 259–272.

SOUKUPOVÁ, L. et al. (1995): Arctic-alpine tundra in the Krkonoše, the Sudetes. Opera corcontica, 32, s. 5-88.

SUCHÁ, R., JAKEŠOVÁ, L., KUPKOVÁ, L. & ČERVENÁ, L. (2016): Classification of vegetation above the tree line in the Krkonoše Mts. National Park using remote sensing multispectral data AUC Geographica, 51, No. 1, pp. 113–129.

ŠTURSA, J. 2013. Arktoalpínská tundra Krkonoš. Živa. Praha: Academia, č. 4, s. 171-174. ISSN 0044-4812.

XIE, Y., SHA, Z., & YU, M. (2008): Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. Journal of Plant Ecology, 1, č. 1, s. 9-23.

YU, Q. et al. (2006): Object-based detailed vegetation classification with airborne high spatial resolution remote sensing imagery. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72, č. 7, s. 799–811.